

**MgB<sub>2</sub>超電導体へのカーボンドープ効果**  
平成 24 年度入学 藤代・内藤研究室 20212003 阿久澤慶太

### Introduction

MgB<sub>2</sub>は2001年に青山学院大学の秋光グループにより超電導体であることが発見された。MgB<sub>2</sub>は金属間化合物の中で最も高い超電導転移温度  $T_c=39\text{ K}$  を示す。RE-Ba-Cu-O系(RE:希土類元素)と比べると電磁気的異方性が低く、コヒーレンス長が長いため弱結合の問題がなく、多結晶で高い臨界電流密度  $J_c$ を得ることができるので、その応用が期待されている。しかし、自己磁場においては高い  $J_c$ を有するが、外部磁場の増加に伴い  $J_c$ は急激に低下するという課題がある。このため、高磁場応用においては  $J_c$ の磁場中特性の向上が不可欠である。この対策として、不純物ドープが有効であることが報告されている。不純物ドープによるピン止め点の導入や結晶性の低下によって上部臨界磁場  $H_{c2}$ の向上が期待される。その中でも、Cは、Bサイトに置換されることでコヒーレンス長が短くなり、 $H_{c2}$ が向上することで、高磁場での  $J_c$ の改善に効果があるとされている。そこで、本研究では、SiCやグラファイトといった原料を用いたCドープによるMgB<sub>2</sub>超電導特性の変化を調べた。

### Experiments

原料粉末には、Mg粉末(純度 99.5%、80 mesh)、アモルファスB粉末(純度 99%、300 mesh)、SiC粉末(純度 99.5%、300 mesh)、グラファイト粉末(純度 99.9%、300 mesh)を用いた。仕込み組成は、Mg<sub>1.1</sub>B<sub>2.0-x</sub>(SiC)<sub>x</sub> ( $x=0\sim0.4$ )、Mg<sub>1.1</sub>B<sub>2.0-x</sub>(C)<sub>x</sub> ( $x=0\sim0.4$ )とした。これらの混合粉末を自動乳鉢で1時間攪拌させた後、外径6mm、内径5mm、長さ50mmのSUS管に詰め、粉末充填部を10MPaで5分間加圧した。焼結条件は、Ar雰囲気中で800°C、1時間保持とした。構造評価はX線回折(XRD)を用いた。電気抵抗率は焼結体から試料片を切り出し、直流四端子法で測定し、臨界電流密度はSQUID磁束計で測定した磁気ヒステリシス曲線から拡張型ビーンモデルを用い算出した。

### Results and Discussion

図1にXRDの結果を示す。すべての試料で主相としてMgB<sub>2</sub>相が観測された。また、SiCドープ試料では、不純物相として未反応のSiCやMg及びMg<sub>2</sub>Si相が観測された。これは、未反応のMgとSiCが反応し生成したものと考えた。この不純物相の粒径に関しては今後、SEMなどの組織観察により確認する必要がある。図1挿入図にMgB<sub>2</sub>(101)面付近の拡大図を示す。BがCで置換されると、格子が収縮し、ピークが高角側へシフトすると予想していたが、ピークシフトは確認できなかった。

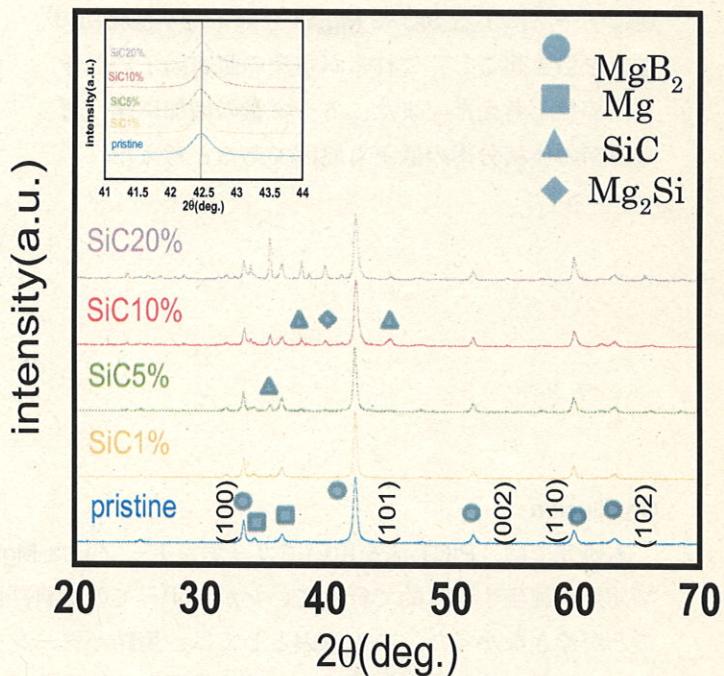


図1 SiC ドープ試料のXRDパターン

図2にSiCドープ試料のa軸長とc軸長のドープ量依存性を示す。それぞれXRD結果のMgB<sub>2</sub>(110)面、(002)面から以下の式を用いて算出した。

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

$$2ds\sin\theta = 1.54$$

C置換が起きると、C原子が面内方向では、隣接したB原子と共有結合し、面間方向では、Mg原子と弱く結合するため、a軸長は減少し、c軸長にはほとんど変化が生じないと予想される。このためC置換が実際に起きているかを確認するには、a軸長の変化を観察すればよいと考えられる。図より、a軸長、c軸長ともにほとんど変化は見られなかつたため、C置換は起きたかったと考えた。

図3にSiCドープ試料の電気抵抗率の温度依存性を示す。すべての試料で超電導転移が確認できた。転移温度はすべての試料で38K程度であった。C置換により格子が収縮し、転移温度は低下すると予想していたが、転移温度に大きな変化は観察されなかった。

図4に、SiCドープ試料の臨界電流密度の磁場依存性を示す。自己磁場下における各試料のJ<sub>c</sub>の値はそれぞれ159 kA/cm<sup>2</sup>(pristine)、226 kA/cm<sup>2</sup>(SiC1%)、106 kA/cm<sup>2</sup>(SiC5%)、81 kA/cm<sup>2</sup>(SiC10%)、80 kA/cm<sup>2</sup>(SiC20%)となり、ドープにより低下するという結果になった。これはC置換がほとんど起きず、逆にドープによるSiCやMg<sub>2</sub>Siといった不純物相の生成を引き起こし、これらが電流の阻害因子になつたためだと考えた。また、ドープ量の増加に伴う超電導相の体積分率の低下も原因であると考えた。

### Conclusion

本研究では、PICT法を用いてカーボンドープしたMgB<sub>2</sub>バルクを作製し、臨界電流密度へのカーボンドープ効果を評価する目的で行っていたが、すべての試料評価の結果から、C置換が確認されず、効果を評価することができなかつた。この原因としては、焼結パターンや原料粉末の粒径などいくつか考えられるが、今後は、これらを検証し、C置換における最適な条件を見つけ、ドープ効果を評価し、バルクの作製へと拡げていきたいと考えている。

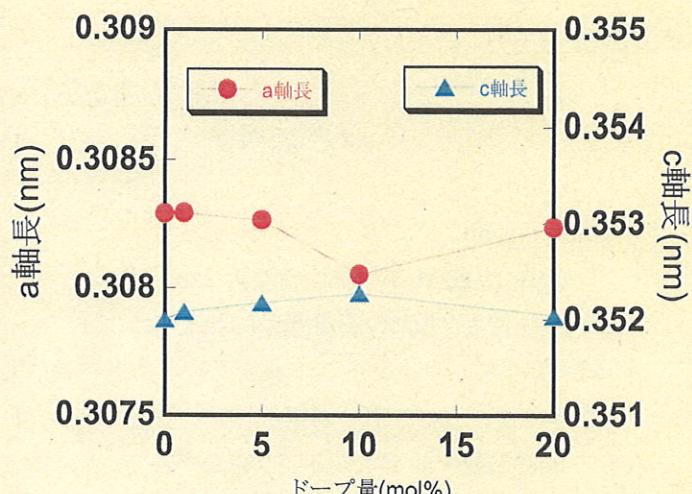


図2 a、c 軸長のドープ量依存性

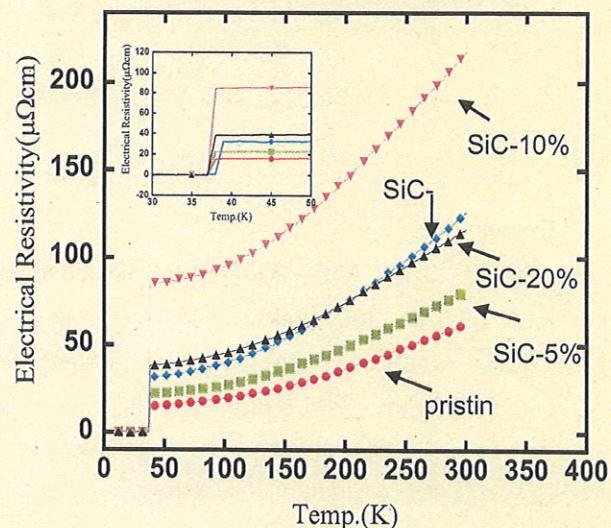


図3 電気抵抗率の温度依存性

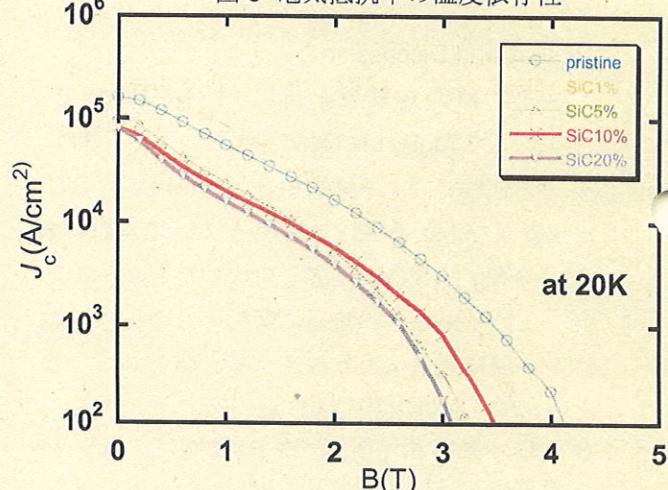


図4 臨界電流密度の磁場依存性